

Estudo das propriedades físicas e mecânicas de concreto com substituição parcial de agregado natural por agregado reciclado proveniente de RCD

Study of physical and mechanical concrete properties with partial replacement of natural aggregate by recycled aggregate from CDW

Camila Frotté¹, Clarisse Sophia Alejandra Di Nubila², André Nagalli²,
Wellington Mazer², Gustavo Macioski², Luna Ollin Steffen de Oliveira²

¹ Departamento Acadêmico de Construção Civil – UTFPR. Rua Deputado Heitor de Alencar Furtado, 5.000, CEP 81280-340, Curitiba, PR

e-mail: cami_fro@hotmail.com

² Endereço dos outros autores 2 a 6

e-mail: clarissedinubila@yahoo.com.br; nagalli@utfpr.edu.br; wmazer@utfpr.edu.br; gmacioski@utfpr.edu.br; luna_steffen@hotmail.com

RESUMO

A incorporação de resíduos de construção e demolição (RCD) como agregados em concretos requer bom conhecimento das propriedades dos materiais envolvidos. O objetivo da presente pesquisa foi caracterizar um produto específico de uma usina de reciclagem de RCD, a Usina de Recicláveis Sólidos Paraná (USIPAR), localizada em Almirante Tamandaré, PR, conhecido comercialmente como bica corrida. O agregado reciclado foi caracterizado quanto à sua granulometria e demais características físicas. A fração miúda do agregado reciclado foi escolhida para substituir o agregado natural. Demais características desta fração foram estudadas, como teor de material pulverulento, massa específica e absorção de água. Foram produzidos concretos com diferentes taxas de substituição (0%, 25%, 50%) de agregado natural por agregado reciclado. As propriedades do concreto foram então avaliadas e verificou-se que o aumento do teor de substituição de agregado natural por agregado reciclado reduziu a trabalhabilidade, a massa específica seca e saturada do concreto e o módulo de elasticidade, bem como aumentou a absorção e o índice de vazios. A massa específica real do concreto não foi influenciada pelo teor de substituição. Com relação às resistências à compressão e à tração, a substituição de agregado natural pelo agregado reciclado levou a um decréscimo na resistência do concreto. O concreto com 50% de teor de substituição obteve uma maior resistência à compressão axial que o concreto com teor de substituição de 25%, e mesma resistência à tração por compressão diametral que o concreto controle.

Palavras-chave: RCD. Sustentabilidade. Reciclável.

ABSTRACT

The incorporation of construction and demolition waste (C&D waste) as aggregate in concrete requires good understanding of the properties of the materials involved. The purpose of this study was to characterize a specific product of a C&D waste recycling plant, the Usina de Recicláveis Sólidos do Paraná (USIPAR), located in Almirante Tamandaré, PR. The recycled aggregate was characterized in respect to their particle size and other physical characteristics. The fine fraction of recycled aggregate was chosen to replace the natural aggregate. Other characteristics of this fraction were evaluated, such as pulverulent material content, specific weight and water absorption. Concretes were produced with different substitution rates of natural aggregate by recycled aggregate (0%, 25%, 50%). The properties of the concrete produced were analyzed and was found that increasing the substitution rate of natural aggregate by recycled aggregate reduced the workability, the dry specific weight and saturated specific weight, and modulus of elasticity of concretes, as well as in-

creased absorption and void ratio of concretes. The real specific weight of the concrete was not influenced by the replacement content. In regard to the compression and tension strength, the replacement of natural aggregate by recycled aggregate led to a decrease in concrete strength. The concrete with a 50% replacement level obtained a greater compressive strength than the concrete with 25% replacement level, and the same tensile strength as the reference concrete.

Keywords: C&D waste. Sustainability. Recyclable.

1. INTRODUÇÃO

Algumas alternativas para conter a utilização de produtos naturais na construção civil são aprimorar o uso destes ou utilizar materiais alternativos. Na questão da utilização de materiais alternativos, uma possível ação para a mitigação dos impactos ambientais é a utilização de materiais reciclados a partir do resíduo de construção e demolição (RCD). Estes resíduos podem ser reciclados e utilizados na própria obra, ou também podem ser encaminhados a usinas de reciclagem [1].

Em um contexto nacional, a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 307/02, que trata especificamente de resíduos da construção civil, juntamente com as resoluções CONAMA nº 348/04, nº 431/11 e a nº 448/12, abordam a reciclagem como destino obrigatório aos resíduos pertencentes a determinadas classes, como é o caso, por exemplo, de componentes de concreto e cerâmicos provenientes da construção, demolição, reformas e reparos de edificações [1, 2, 3, 4], e um dos destinos para reciclagem desses materiais é transformá-los em agregados.

Os agregados constituem um importante material a ser produzido a partir do RCD por serem um dos materiais mais consumidos pelo setor da construção civil. Além de contribuir com a preservação do meio ambiente, o agregado proveniente de RCD demanda menor custo de capital, de energia e, potencialmente, de transporte [5]. A reciclagem desse agregado é de fundamental importância ao meio ambiente, uma vez que os referidos resíduos retornarão como substituição a novas matérias primas que seriam extraídas do meio ambiente. Contudo, as iniciativas que se referem à pesquisa de novas tecnologias que aparentemente não se convertem em grandes vantagens financeiras, continuam sendo vistas de forma negativa pela construção civil, não havendo grande mobilização do setor [6].

A utilização de agregados reciclados de RCD na produção de concretos possui um grande potencial, além disso, pesquisas relacionadas com as taxas de substituição do agregado reciclado pelo agregado natural no concreto e, como consequência, seu desempenho com esta substituição, são muito importantes para trazer cada vez mais segurança e confiança aos profissionais da construção civil em empregar esses materiais nas obras.

Segundo estudos, concretos produzidos com agregados reciclados de RCD apresentam uma perda de trabalhabilidade e aumento do consumo de cimento devido à alta absorção de água desse material [7, 8, 9, 10], além de apresentarem maior absorção de água e índice de vazios quando comparados com os concretos convencionais. Essa característica ocorre em função do aumento da relação água/cimento, redução da massa específica, permeabilidade e composição dos agregados reciclados [11, 12, 13, 14]. Foram investigadas 236 publicações no período de 1977 a 2014 e concluiu-se que se pode prever as propriedades do concreto quando da utilização de agregados oriundos de RCD [15]. Outros autores [16], ao realizarem uma investigação bibliográfica, concluíram que nos últimos anos vem sendo possível produzir concretos, para fins estruturais ou não estruturais, equivalentes quer com agregados naturais ou reciclados, o que não era possível há pouco mais de uma década. Tal comportamento mecânico equivalente foi comprovado experimentalmente por Pereira et al. [17].

Por exemplo, foram desenvolvidos concretos com substituições parciais de 25 e 50% de agregados reciclados e concluiu-se a não existência de contaminantes (asfalto, argila, etc.) influenciando a trabalhabilidade deste [20]. Adicionalmente, alguns autores [19] afirmam que se faz necessária a utilização de superplastificantes em concretos com agregados reciclados. Estudos sobre o desempenho mecânico de corpos de prova de concreto estabeleceram em 30% a proporção ótima para utilização de agregados reciclados [20]. Por outro lado, Bravo et al. [21] concluíram que a durabilidade do concreto é afetada de modo importante pela utilização dos agregados reciclados, decorrente principalmente da composição dos resíduos.

Embora a análise laboratorial demande critérios rigorosos, a heterogeneidade dos RCD impõe uma peculiaridade, que é não haver grande influência, nos resultados finais, do ponto de coleta [22].

De maneira a contribuir para a sustentabilidade na construção civil, o presente estudo visa complementar o conhecimento sobre as propriedades de concretos com substituição de agregado natural por agregados oriundos de beneficiamento de RCD, investigando-se as propriedades inerentes aos agregados reciclados

fração bica corrida grossa.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados no estudo foram cimento CPV-ARI, areia grossa de rio lavada, brita 1 de origem granítica, agregados reciclados de RCD e água potável. Os procedimentos realizados englobam os ensaios de caracterização dos agregados naturais e reciclados, a dosagem dos materiais para a confecção de corpos de prova de concreto, realização dos ensaios de resistência e análises estatística de resultados; o fluxograma com as etapas do estudo encontram-se organizados na Figura 1.

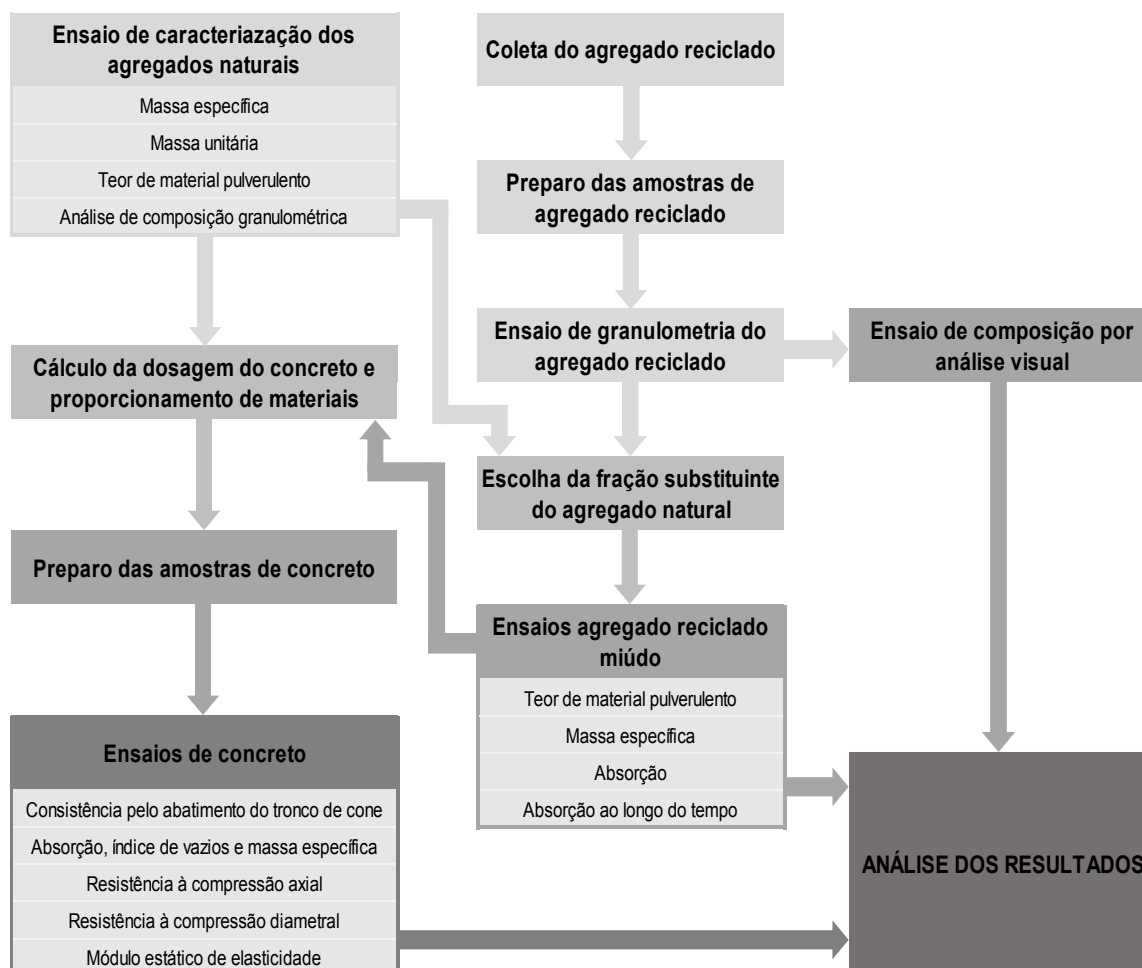


Figura 1: Fluxograma dos procedimentos metodológicos.

Os dados coletados foram analisados por meio de inferência estatística utilizando o teste paramétrico de Análise de Variância de um fator (teor de RCD) - ANOVA – a um nível de significância de 95%. Também foi realizada a comparação múltipla de médias pelo teste de Tukey quando verificadas diferenças significativas entre os resultados, com resultados apresentados em grupos estatisticamente iguais. Também buscaram-se correlações entre as propriedades do concreto no estado endurecido de forma a compreender as alterações geradas pela presença do RCD nestes concretos e em suas propriedades.

2.1.1 Coleta do agregado reciclado

O agregado reciclado foi coletado na usina de reciclagem de RCD Usinas de Recicláveis Sólidos Paraná (USIPAR), localizada em Almirante Tamandaré, PR. A USIPAR recolhe RCD classe A (classificação segundo a Resolução Conama nº 307/02) e os tritura, transformando-os em areia, brita 1, brita 0 e rachão. Outro produto produzido na usina é a bica corrida, que até meados de maio de 2015, não apresentava valor comercial. A diferença entre este material e os demais produtos gerados pela usina é que, além dos resíduos classe A, há porções de solos na composição da bica corrida recebidos em meio às cargas, assim sua composição

apresenta uma faixa granulométrica ampliada. O agregado coletado para estudo corresponde à bica corrida com a granulometria grossa.

Para o presente estudo foi coletado um volume de 3000 litros de agregado reciclado, conforme mostrado na Figura 2, em um único dia em maio de 2015, de maneira a se desconsiderar a variabilidade na composição do agregado que é produzido em diferentes dias, que se deve à variação da natureza dos resíduos recebidos pela usina. Portanto, as características analisadas dizem respeito a uma ocorrência única de agregado, nos termos estabelecidos por Bravo et al. [22].



Figura 2: Amostra coletada de RCD.

Como era previsto pela característica da bica corrida grossa fornecida pela USIPAR, o material recebido apresentou granulometria bastante diversificada e, além deste fato, englobava visualmente uma vasta gama de materiais. Dentre os materiais presentes na amostra de RCD, encontraram-se diversos tipos de “contaminantes” como materiais plásticos, pastilhas cerâmicas, isopor, madeira, vidro, dentre outros.

2.1.2 Preparo das amostras do agregado reciclado

Após a coleta do agregado reciclado de RCD, foram coletadas porções de mesma massa de 7 pontos distintos da pilha, sendo retirada cerca de 10cm da camada de material mais superficial, totalizando uma amostra de 50kg. Ressalta-se que esta porção resultante não passou por nenhum processo beneficiamento complementar.

Após este processo, o material foi homogeneizado e posteriormente quarteado até a obtenção de duas porções, as quais foram armazenadas em bombonas plásticas. Este processo foi realizado de acordo com a NBR NM 27:2001 [23], que estabelece as diretrizes para redução da amostra de campo para ensaios de laboratório.

2.1.3 Escolha do agregado reciclado para substituição do agregado natural

O agregado reciclado em estudo é constituído tanto por agregados graúdos quanto miúdos. Para emprego no concreto foi utilizada apenas uma fração do agregado reciclado para substituir o agregado natural. A escolha da fração a ser empregada foi realizada com base em dois fatores: semelhança da curva granulométrica do agregado reciclado com relação ao agregado natural; e abundância de material. Para analisar a fração do agregado reciclado que se enquadra nestes critérios foram realizados ensaios de composição granulométrica dos agregados natural e reciclado de acordo com os procedimentos estabelecidos pela NBR NM 248:2003 [24]. Posteriormente estes valores foram comparados com as zonas granulométricas, no caso dos agregados graúdos, e com os limites de zonas ótima e utilizável, para os agregados miúdos, estabelecidos pela NBR 7211:2009 [25].

Para os agregados reciclados, foram realizadas as seguintes determinações: distribuição granulométrica do agregado reciclado em sua totalidade, distribuição granulométrica da fração graúda, e distribuição granulométrica da fração miúda. Todos os ensaios de granulometria foram realizados em duplicata, como recomendado por norma.

A partir destes ensaios foram também determinados o módulo de finura (agregados miúdos), e a dimensão máxima característica (agregados graúdos).

Após feitos os ensaios com os agregados natural miúdo, natural graúdo, reciclado miúdo e reciclado graúdo, constatou-se que na análise segundo a NBR 7211:2009 [25] o agregado reciclado miúdo ficou na zona ótima de utilização quanto a finura e na zona utilizável quanto a distribuição granulométrica além de se assemelhar consideravelmente com o agregado natural neste quesito. Já o agregado reciclado graúdo não se enquadrou em nenhuma das zonas granulométricas especificadas na norma, configurando uma deficiência na graduação de seus grãos para atendimento às normas vigentes de agregados para concreto.

Assim, de acordo com os critérios para escolha da fração do agregado reciclado a ser utilizado para substituir o agregado natural para produção de concreto, a fração escolhida foi a miúda, tanto pela semelhança de sua granulometria com relação ao agregado natural, quanto por apresentar maior quantidade no agregado reciclado. As taxas de substituição do agregado reciclado pelo agregado natural foram de 25% (C25%) e de 50% (C50%); os concretos com as taxas de substituição foram comparados ao concreto com taxa de substituição nula (C_{ref}).

2.1.4 Caracterização física dos agregados reciclado e natural

Para os agregados a serem utilizados no concreto, determinaram-se o teor de material pulverulento segundo a NBR 15116:2004, a massa específica para os agregados miúdos segundo a NBR NM 52:2009 [26], a massa específica para o agregado natural graúdo segundo a NBR NM 53:2009 [27], massa unitária solta e compactada do agregado natural graúdo segundo a NBR NM 45:2006 [28] e a absorção de água para o agregado reciclado miúdo de acordo com a NBR NM 30:2001 [29].

2.1.5 Preparo das amostras de concreto

Inicialmente, como parâmetro de dosagem, adotou-se uma resistência característica à compressão (f_{ck}) de 20 MPa. Considerando a variabilidade da resistência do concreto devido ao seu processo de obtenção, fez-se necessário um ajuste utilizando um desvio padrão de dosagem (S_d) no valor de 4MPa segundo a NBR 12655:2006 [30] de forma a se obter a resistência de dosagem do concreto à compressão (f_{cj}), que foi calculada conforme a Equação 1.

$$f_{cj} = f_{ck} + 1,65 \times S_d \quad (1)$$

A resistência de dosagem do concreto à compressão ficou em 26,6 MPa. O consumo de cimento foi de 322,58 kg/m³, tanto para o concreto controle quanto para os concretos com 25 e 50% de teor de substituição. Tendo em mãos este valor, o procedimento de dosagem para a produção dos concretos foi o ABCP/ACI [31] por meio do qual obteve-se o traço inicial 1:2,90:3,16, com fator a/c de 0,645, fixando-se o abatimento de tronco de cone de 5cm a 7 cm.

Foram obtidos concretos com três taxas de substituição em massa de agregado natural por agregado reciclado miúdo (0%, 25% e 50%). Para cada teor de substituição foram produzidas duas betonadas de 20 litros cada. Para se obter o mesmo volume de agregado, as quantidades de agregado reciclado miúdo empregadas nos concretos C25% e C50% foram corrigidas de acordo com a Equação 2, levando em consideração a massa do agregado reciclado (M_{ar}), a massa do agregado natural (M_{an}), a massa específica do agregado reciclado (γ_{ar}) e a massa específica do agregado natural (γ_{an}).

$$M_{ar} = \frac{M_{an}}{\gamma_{an}} \times \gamma_{ar} \quad (2)$$

No primeiro teste do tronco de cone o resultado foi de 3 cm, o que fez com que o traço fosse alterado para 1:2,9:2,81, com aumento do teor de argamassa para que o teste ficasse dentro do limite estipulado de 5cm a 7cm.

Nos concretos C25% e C50%, de maneira a corrigir os efeitos da absorção de água dos agregados reciclados na mistura de concreto, estes foram pré-molhados por 15 minutos com a quantidade de água equivalente a 80% da absorção total do agregado reciclado, recomendada pela NBR 15116:2004 [32].

Para os ensaios do concreto no estado endurecido foram utilizados moldes cilíndricos de 10 cm x 20 cm. Foram confeccionados 21 corpos de prova (CP's) por traço, totalizando 63 e a cura dos corpos de prova ocorreu em umidade ambiente.

2.1.6 Consistência pelo abatimento do tronco de cone

Este ensaio, conhecido como slump test, avalia a trabalhabilidade do concreto no estado fresco e é regulamentado pela NBR NM 67:1998 [33]. Para sua execução fazem-se necessários uma base metálica plana quadrada, um molde tronco-cônico e uma haste metálica de seção circular. A trabalhabilidade foi determinada para cada um dos três tipos de concreto produzidos (C_{Ref} , C25% e C50%).

2.1.7 Absorção de água, índice de vazios e massa específica

Os ensaios de absorção de água, índice de vazios e massa específica, relacionados à porosidade do concreto, foram realizados seguindo as recomendações da NBR 9778:2009 [34].

Após 28 dias de cura, foram colocados 4 corpos de prova de cada traço em estufa a 100 °C por 24 h, e foram medidas suas massas secas. Em seguida, estes corpos de prova foram colocados em imersão em água também pelo período de 24h, e, após secagem superficial, realizaram-se medidas de sua massa em condição saturada. A massa da amostra saturada imersa em água foi determinada com a utilização de uma balança hidrostática. Este ensaio foi realizado 4 vezes para cada traço de concreto, sendo 2 amostras por betonada.

2.1.8 Resistência à compressão axial

A obtenção das resistências à compressão aos 7 e 28 dias dos corpos de prova de concreto foram realizadas pelo método descrito na NBR 5739:2007 [35]. Utilizou-se uma prensa hidráulica EMIC modelo PC200 com capacidade de 200 tf. A velocidade empregada no ensaio de resistência à compressão axial foi de $(0,45 \pm 0,15)$ MPa/s. Na realização deste ensaio os corpos de prova encontravam-se com umidade ambiente e para cada teor de substituição foram realizados 10 rompimentos, sendo 4 corpos de prova ensaiados a 7 dias, e 6 corpos de prova, a 28 dias.

2.1.9 Resistência à tração por compressão diametral

Para o ensaio de tração na compressão, adotou-se como referência a NBR 7222:2011 [36]. A prensa hidráulica utilizada foi a EMIC modelo DL30.000 com capacidade de 30tf e velocidade uniforme de aplicação de carga de 0,05 MPa/s. Foram rompidos 4 corpos de prova aos 28 dias para cada traço de substituição.

2.1.10 Módulo de elasticidade estático

Para a realização deste ensaio, utilizou-se a mesma prensa do ensaio de compressão diametral além de medidores de deformação mecânicos com bases independentes. Nestes, encontravam-se dois relógios comparadores posicionados diametralmente opostos, e foram realizadas leituras a cada 2000 N aplicados a partir da terceira etapa de carregamento. A taxa de carregamento utilizada foi de 5 MPa/min. A normalização do procedimento encontra-se na NBR 8522:2008 [37]. Foram realizados três ensaios para cada traço de concreto aos 28 dias e em umidade ambiente.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1.1 Caracterização do agregados

Os resultados e discussão que dizem respeito à caracterização dos agregados referem-se à distribuição granulométrica, escolha da fração do agregado a ser utilizado para substituir o agregado natural, natureza dos materiais constituintes do agregado reciclado, teor de material pulverulento, massa específica e massa unitária, e absorção de água.

3.1.2 Teor de material pulverulento

A Tabela 1 apresenta os teores de material fino passante pela peneira 75 μ m dos agregados naturais (AN) areia e brita, e do agregado reciclado miúdo (AR), respectivamente.

Tabela 1: Determinação do teor de material pulverulento dos agregados.

	AN Miúdo 1	AN Miúdo 2	AN Graúdo 1	AN Graúdo 2	AR Miúdo 1	AR Miúdo 2
Teor pulverulento	1,87 %	1,60 %	0,96 %	0,66 %	3,62 %	2,43 %
Média	1,73 %		0,81 %		3,03 %	

Os resultados de teor de pulverulentos dos agregados naturais encontram-se dentro dos limites estabelecidos pela NBR 7211:2009 [25]. No caso do agregado reciclado miúdo, o teor de pulverulentos encontra-se dentro do limite de 20% estipulado pela NBR 15116:2004 [32] para utilização de agregado reciclado misto miúdo em concreto sem função estrutural. Pode-se afirmar que o teor de pulverulentos do agregado reciclado miúdo é cerca de 75% maior que o teor de pulverulentos do agregado natural miúdo.

3.1.3 Massa específica e massa unitária

Na Tabela 2 encontram-se os valores de massa específica dos agregados naturais e do agregado reciclado miúdo utilizados no concreto.

Tabela 2: Massa específica dos agregados.

	AN Miúdo	AN Graúdo	AR Miúdo
Massa específica	2,63 g/cm ³	2,74 g/cm ³	2,54 g/cm ³

De acordo com os resultados da Tabela 2, o agregado reciclado miúdo apresenta uma massa específica 3,4% menor com relação ao agregado natural miúdo. Esta relação está próxima do que foi indicado por [38] apud [39], de que a massa específica dos agregados reciclados é cerca de 5 a 10% menor que a dos agregados naturais. Além disso, a massa específica do agregado reciclado miúdo é similar à do agregado utilizado no estudo de [40], que encontrou a massa específica de 2,51 g/cm³ para os agregados naturais miúdos utilizados em sua pesquisa, os quais possuem uma natureza similar ao agregado utilizado no presente trabalho.

A Tabela 3 apresenta os resultados de massa unitária solta e compactada do agregado natural graúdo que foram utilizados no cálculo da dosagem do concreto.

Tabela 3: Massa unitária solta e compactada do agregado natural graúdo.

	Solta	Compactada
Massa unitária	1425,72 kg/m ³	1506,55 kg/m ³

3.1.4 Absorção de água

A absorção de água encontrada para o agregado reciclado miúdo é de 12,35%. Este valor enquadra-se dentro do limite estabelecido pela NBR 15116:2004 [34], que estabelece que a absorção de água máxima para agregados reciclados mistos miúdos para utilização em concreto deve ser de 17%.

3.1.5 Absorção de água ao longo do tempo

A Tabela 4 apresenta a absorção do agregado reciclado miúdo para cada tempo de imersão em água e a partir da análise desses resultados estima-se que a porcentagem de água absorvida por este agregado após 15 minutos (intervalo de tempo utilizado para pré-molhagem) de imersão em água, seja de 62% do valor máximo de água que pode ser absorvido pelo agregado.

Tabela 4: Absorção de água ao longo do tempo do agregado reciclado miúdo.

TEMPO (min)	ABSORÇÃO (%)
1	4,70
2	7,16
3	7,27
5	6,17
10	8,11
30	8,22
60	6,95
150	9,60
180	9,23
240	9,34

3.1.6 Propriedades dos concretos

Os resultados e discussão referentes às propriedades dos concretos correspondem à consistência, absorção, índice de vazios, massa específica, resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral e módulo de elasticidade.

3.1.7 Consistência pelo abatimento tronco de cone

Os valores obtidos pelos ensaios de consistência pelo abatimento do tronco de cone encontram-se na Tabela 5, e os resultados mostram que a adição do agregado reciclado causou a redução do abatimento do concreto, chegando a uma diferença de 42,67% para o C50%, quando comparado ao concreto convencional. No caso do concreto C25%, o slump ainda enquadra-se no limite de trabalhabilidade estabelecido para o C_{ref} entre 5,0 e 7,0 cm. Uma vez que os agregados reciclados foram pré-molhados antes de serem adicionados à mistura de concreto, esperava-se que o aumento do teor de substituição levasse a uma diminuição da consistência do concreto, como observado por García González et al. [41]. Porém, o slump diminuiu com o aumento do teor de substituição. Tal resultado alerta para o fato de que a pré-molhagem recomendada pela NBR 15116:2004 [32] pode não ter sido suficiente para a correção da absorção excessiva de água pelo agregado oriundo de RCD. O intervalo de tempo de 15 minutos em que a pré-molhagem ocorreu também pode não ter sido satisfatório.

Uma solução para a correção do efeito de diminuição da trabalhabilidade do concreto seria o emprego de aditivo plastificante à mistura. Outra opção seria a adequação do procedimento de pré-molhagem dos agregados reciclados.

Tabela 5: Abatimento do tronco de cone.

	C_{ref}	C25%	C50%
Abatimento obtido	6,0 cm	5,0 cm	3,5 cm

3.1.8 Absorção de água, índice de vazios e massa específica

Com os resultados dos ensaios de absorção de água, como mostra a Tabela VI, observa-se que a absorção aumenta com o aumento do teor de substituição apesar de ser uma relação não linear, apresentando um aumento com relação ao concreto C_{Ref} de cerca de 42% e 65% para os concretos C25% e C50%, respectivamente.

Tabela 6: Absorção de água do concreto no estado endurecido.

	C_{ref}	C25%	C50%
Absorção	5,61 %	7,97 %	8,74 %

Calculou-se, também, o índice de vazios dos corpos de prova de concreto, como disposto na Tabela 7.

Tabela 7: Índice de vazios do concreto no estado endurecido.

	C_{ref}	C25%	C50%
Índice de vazios	12,49 %	16,86 %	18,20 %

O índice de vazios é aumentado para cada teor de substituição em relação ao C_{Ref} , sendo que para o C25% há 35% mais vazios, e para o C50% este índice aumenta cerca de 46%. Estes dados confirmam o aumento da absorção com o aumento do teor de substituição. Estes resultados encontram-se em consonância com o observado por Tenório [13], que verificou a tendência do índice de vazios aumentar com a substituição da areia por agregado miúdo reciclado. Esse aumento no índice de vazios pode estar relacionado com o maior teor de material pulverulento do agregado reciclado miúdo empregado no presente estudo, uma vez que essa fração é capaz de aprisionar mais ar na mistura fresca e assim, após o endurecimento, deixar maior quantidade de vazios na pasta [23].

Por fim, obtiveram-se os valores referentes às massas específicas real, seca e saturada dos concretos no estado endurecido para cada teor de substituição, como consta na Tabela 8.

Tabela 8: Massa específica seca do concreto no estado endurecido.

	C_{ref}	C25%	C50%
Massa esp. real	2,54 g/cm ³	2,54 g/cm ³	2,55 g/cm ³
Massa esp. seca	2,23 g/cm ³	2,12 g/cm ³	2,08 g/cm ³
Massa esp. saturada	2,35 g/cm ³	2,28 g/cm ³	2,26 g/cm ³

Percebe-se que o aumento do teor de substituição de agregado natural por agregado reciclado, levou a uma diminuição da massa específica seca e saturada dos concretos, o que se mostra de acordo com o aumento do índice de vazios e da absorção do concreto. Quanto à densidade do concreto, verificou-se que não houve alteração com o aumento do teor de substituição de agregado, o que mostra que o fato da massa específica do agregado reciclado ser menor que a massa específica do agregado natural não influenciou esta característica do concreto.

3.1.9 Resistência à compressão axial

Os resultados dos ensaios de compressão axial do concreto aos 7 dias são apresentados na Tabela 9, foram rompidos 4 corpos de prova para cada teor de substituição.

Tabela 9: Resistência a compressão axial do concreto aos 7 dias.

	C_{ref}	C25%	C50%
Compressão axial betonada 1	22,00 MPa	17,40 MPa	22,20 MPa
	23,20 MPa	18,00 MPa	19,60 MPa
Compressão axial betonada 2	24,40 MPa	18,80 MPa	21,90 MPa
	23,40 MPa	17,80 MPa	21,80 MPa

Com base nos resultados acima apresentados, foram calculadas as médias e os intervalos de confiança de 68,27% e 95,45% para cada um dos teores de substituição de agregado natural por agregado reciclado. Os intervalos de confiança foram estabelecidos considerando os valores de desvio padrão corrigidos por t de Student para grau de liberdade igual a três.

A partir dos resultados obtidos, é possível afirmar, com uma confiabilidade de 95%, que a média da resistência à compressão aos 7 dias do concreto C25% é diferente da média da resistência obtida pelo C_{Ref} , sendo cerca de 23% menor com relação à do concreto C_{Ref} . O concreto C50%, por sua vez, obteve uma média de resistência à compressão aos 7 dias cerca de 8% menor com relação ao concreto C_{Ref} . É possível afirmar que, para uma confiabilidade de 68%, as médias das resistências à compressão do C50% e do C_{Ref} são dife-

rentes. Existe portanto uma probabilidade de 32% de que a substituição de agregado natural por agregado reciclado em 50% não tenha afetado a resistência à compressão axial do concreto aos 7 dias.

Para o ensaio de compressão axial do concreto aos 28 dias foram rompidos 6 corpos de prova para cada teor de substituição e os resultados são apresentados na Tabela 10

Tabela 10: Resistência a compressão axial do concreto aos 28 dias.

	C_{ref}	C25%	C50%
Compressão axial betonada 1	24,70 MPa	22,50 MPa	26,80 MPa
	27,90 MPa	22,00 MPa	21,40 MPa
	27,60 MPa	20,80 MPa	24,00 MPa
Compressão axial betonada 2	34,00 MPa	23,60 MPa	23,80 MPa
	30,30 MPa	25,20 MPa	27,60 MPa
	28,30 MPa	20,20 MPa	27,20 MPa

Com base nos resultados apresentados, foram calculadas as médias e os intervalos de confiança de 68,27% e 95,45% para cada um dos teores de substituição de agregado natural por agregado reciclado. Os intervalos de confiança foram estabelecidos considerando os valores de desvio padrão corrigidos por t de Student, para grau de liberdade igual a cinco.

A partir dos resultados obtidos, após 28 dias de cura, a média de resistência à compressão do concreto C25% é aproximadamente 22% menor com relação à do concreto C_{Ref} . Pode-se afirmar, com uma confiabilidade de 95%, que as médias de resistência à compressão do C25% e do C_{Ref} são diferentes. Analisando-se o concreto C50%, sua média de resistência à compressão axial após 28 dias de cura é cerca de 13% menor que o concreto C_{Ref} . Para uma confiabilidade de 68%, é possível afirmar que as médias de resistência à compressão do C50% e do C_{Ref} são diferentes. Portanto existe uma probabilidade de 32% de que a substituição de agregado natural por agregado reciclado em 50% não tenha afetado a resistência à compressão do concreto aos 28 dias.

A Figura 3 apresenta um gráfico com as médias, e seus respectivos desvios padrão, para a resistência à compressão do concreto para os diferentes teores de substituição, tanto para 7 quanto para 28 dias.

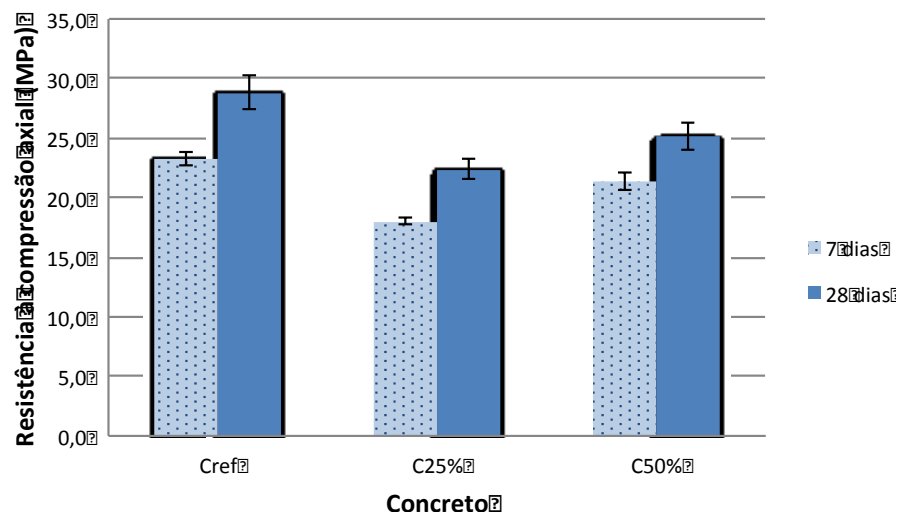


Figura 3: Médias dos resultados de resistência à compressão axial do concreto aos 7 e 28 dias (intervalo de confiança de 68%).

Em suma, a substituição do agregado natural pelo agregado reciclado, considerando os teores de 25% e 50%, levou a um decréscimo na resistência à compressão do concreto aos 7 e aos 28 dias, fato que pode ser correlacionado com resultados na literatura [42, 43]. Entretanto, percebeu-se que taxa de substituição de 50% de agregado natural por agregado reciclado no concreto foi a que menos diminuiu a resistência à compressão

axial do concreto. Um fator que pode ter contribuído para a obtenção de uma maior resistência à compressão para o concreto C50% é o fato de que a água absorvida pelos agregados reciclados pode ter se tornado disponível, com o passar do tempo de mistura, para a hidratação de partículas remanescentes de cimento que não foram hidratadas [44].

3.1.10 Resistência à tração por compressão diametral

Para os ensaios de tração por compressão diametral do concreto aos 28 dias romperam-se 4 corpos de prova para cada teor de substituição e os resultados estão apresentados na Tabela 11. Fazendo-se uma análise de dados espúrios, verificou-se a necessidade de eliminar o valor de 2,0 MPa do concreto C_{Ref} para o cálculo da média.

Tabela 11: Resistência à tração por compressão diametral do concreto aos 28 dias.

	C _{ref}	C25%	C50%
Tração betonada 1	2,00 MPa	2,30 MPa	2,70 MPa
	2,70 MPa	2,00 MPa	2,30 MPa
Tração betonada 2	2,60 MPa	2,80 MPa	3,10 MPa
	3,10 MPa	2,40 MPa	2,40 MPa

Com base nos resultados apresentados, foram calculadas as médias e os intervalos de confiança de 68,27% e 95,45% para cada um dos teores de substituição de agregado natural por agregado reciclado. Os intervalos de confiança foram estabelecidos considerando os valores de desvio padrão corrigidos por t de Student, considerando grau de liberdade igual a 3 para os resultados dos concretos C25% e C50%, e igual a 2 para o concreto C_{Ref}.

Notou-se que, após 28 dias de cura, a resistência à tração por compressão diametral do concreto C25% é aproximadamente 14% menor com relação à resistência do concreto C_{Ref}. Pode-se afirmar com uma confiabilidade de 68% que as médias de resistência à tração por compressão diametral aos 28 dias são diferentes. Analisando-se o concreto C50%, percebe-se que a resistência encontrada foi praticamente a mesma do concreto C_{Ref}.

A Figura 4 apresenta um gráfico com as médias, e seus respectivos intervalos de confiança, para a resistência à tração por compressão diametral do concreto aos 28 dias para os diferentes teores de substituição.

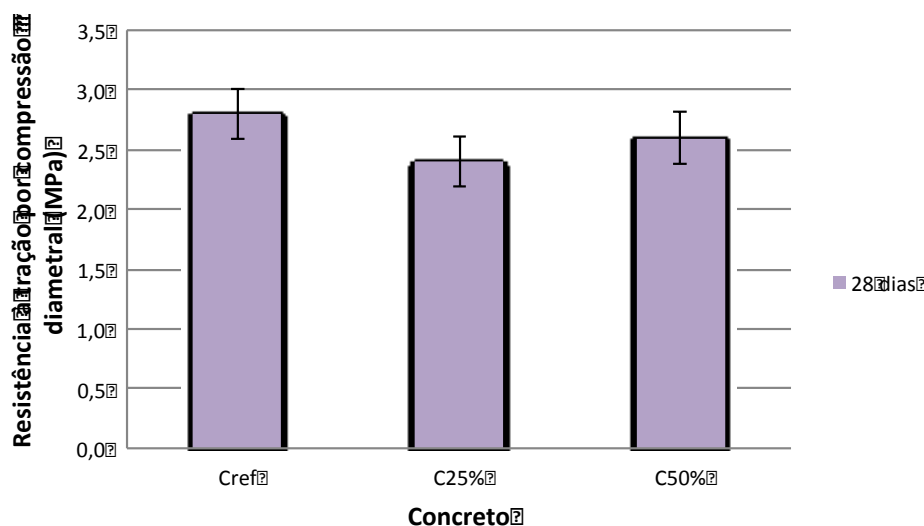


Figura 4: Médias dos resultados de resistência à tração por compressão diametral do concreto aos 28 dias (intervalo de confiança de 68%).

Em suma, a substituição do agregado reciclado pelo agregado natural em 25% levou a um decréscimo na resistência à tração por compressão diametral do concreto aos 28 dias. A taxa de substituição de 50% de agregado natural por agregado reciclado concreto não trouxe prejuízos para a resistência à tração do concreto.

Os resultados encontrados mostram-se compatíveis com os resultados obtidos para resistência à compressão. Isto porque, para ambas resistências, os valores encontrados foram maiores para o concreto C50% em comparação com o C25%. Além disso, o estudo de Leite e Mollin [8] aponta o fato de que agregados reciclados miúdos podem trazer um aumento tanto na resistência à compressão quanto à tração dos concretos.

3.1.11 Módulo de elasticidade estático

Os resultados dos ensaios de módulo de elasticidade do concreto aos 28 dias são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12: Módulo de elasticidade do concreto aos 28 dias.

	C_{ref}	C25%	C50%
Tração betonada 1	31,6 GPa	30,6 GPa	23,2 GPa
Tração betonada 2	36,7 GPa	25,7 GPa	24,0 GPa
	31,0 GPa	28,7 GPa	22,3 GPa

Com base nos resultados apresentados, foram calculadas as médias e os intervalos de confiança de 68,27% e 95,45% para cada um dos teores de substituição de agregado natural por agregado reciclado. Os intervalos de confiança foram estabelecidos considerando os valores de desvio padrão corrigidos por t de Student, para grau de liberdade igual a dois.

Nota-se que, após 28 dias de cura, o módulo de elasticidade do C25% é aproximadamente 15% menor com relação à resistência do concreto controle. Para uma confiabilidade de 68%, é possível afirmar que as médias do módulo de elasticidade do C25% e do C_{Ref} são diferentes. Analisando-se o C50%, pode-se afirmar que o módulo de elasticidade encontrado foi cerca de 30% menor em comparação com o concreto controle. Pode-se afirmar que, para uma confiabilidade de 95%, as médias de módulo de elasticidade do C50% e do C_{Ref} são diferentes.

A Figura 5 apresenta um gráfico com as médias, e seus respectivos intervalos de confiança, para o módulo de elasticidade do concreto aos 28 dias para os diferentes teores de substituição.

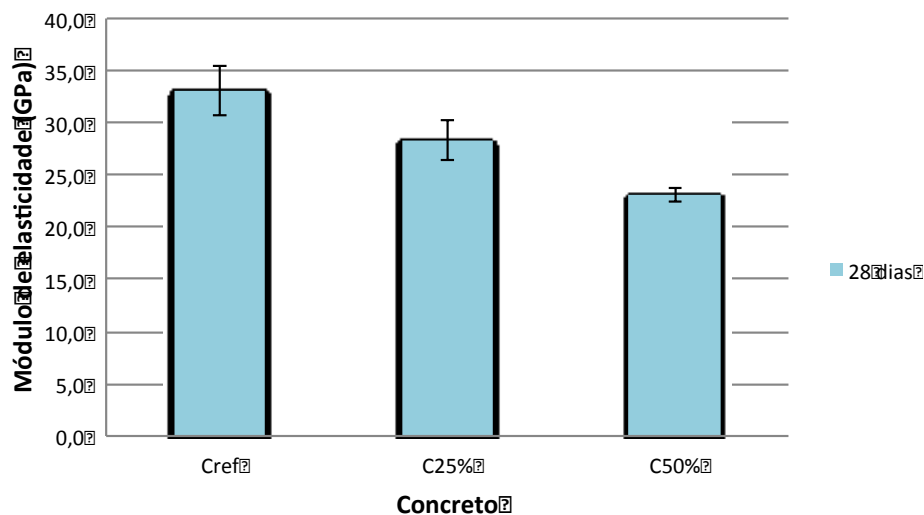


Figura 5: Médias dos resultados de módulo de elasticidade do concreto aos 28 dias (intervalo de confiança de 68%).

Assim, ocorreu uma diminuição no módulo de elasticidade do concreto com o aumento do teor de substituição, o que se mostra de acordo com o observado por Khatib [43]. Além disso, com base nos resultados obtidos pelo ensaio para determinação do índice de vazios, essa redução no módulo de elasticidade era esperada. Porém, ao comparar-se os resultados de módulo de elasticidade com os resultados dos ensaios de resistência à compressão axial e diametral, esperava-se que o módulo de elasticidade do C50% apresentasse um aumento com relação ao C25%.

Com base nas propriedades estudadas dos agregados reciclados e dos concretos, não foi possível veri-

ficar o motivo do aumento da resistência à compressão não ter sido acompanhado pelo aumento do módulo de elasticidade e pela redução do índice de vazios.

3.1.12 Análise estatística

A análise dos resultados foi feita por meio de interferência estatística utilizando-se o teste paramétrico de Análise de Variância de um fator (teor de RCD) com significância de 95% e também foi realizada a comparação múltipla de médias pelo teste de Turkey, além de correlações entre as propriedades do concreto endurecido.

3.1.13 Correlações entre as propriedades do concreto

Para compreender as alterações geradas pela presença do RCD no concreto e em suas propriedades foram feitas correlações entre as propriedades do concreto no estado endurecido

Espera-se que as propriedades mecânicas (resistência à compressão e a tração por compressão diametral) sejam proporcionais. Os resultados obtidos permitiram boas correlações lineares ($R^2 > 0,85$), indicando que concretos com substituição de até 50% de RCD apresentam comportamento semelhante ao concreto convencional. Nota-se que o coeficiente angular das relações obtidas não apresenta um comportamento padrão, com redução ou aumento da relação entre as variáveis como mostra a Figura.

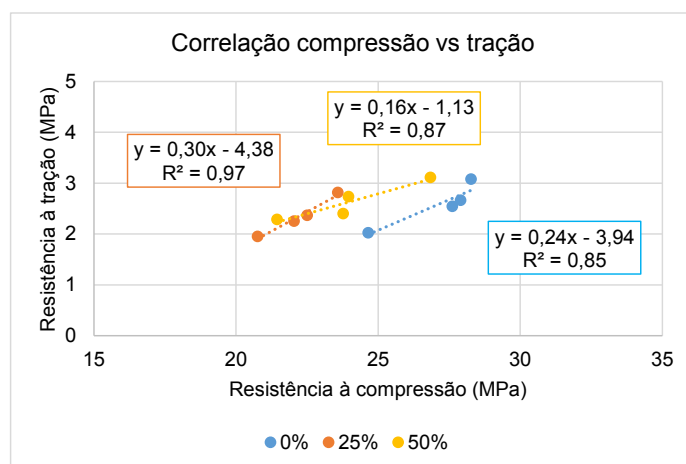


Figura 6: Correlação entre a resistência a compressão e a tração do concreto.

Com relação ao módulo de Young ou de elasticidade, observa-se no gráfico apresentado na Figura 7 uma tendência de aumento com o aumento da resistência à compressão axial. Contudo, a análise apresentou baixa correlação ($R^2 < 0,3$) entre as variáveis analisadas. Desta forma, é possível que a presença de RCD – devido à sua heterogeneidade – proporcione alterações no módulo de elasticidade dos concretos de forma não linear.

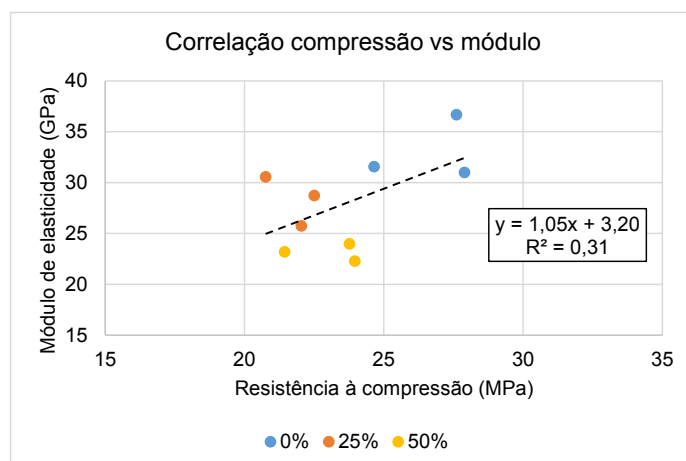


Figura 7: Correlação entre a resistência a compressão e o módulo de elasticidade do concreto.

Quanto ao índice de vazios, todas as classes analisadas apresentaram boas correlações ($R^2 > 0,668$) com a resistência mecânica, uma vez que a presença de poros e discontinuidades nas amostras são capazes de gerar decréscimos nas propriedades mecânicas do concreto. É possível observar na Figura 8 que a presença de RCD alterou a correlação encontrada entre o índice de vazios e a resistência à compressão (quanto maior o teor de RCD, menor o coeficiente angular encontrado).

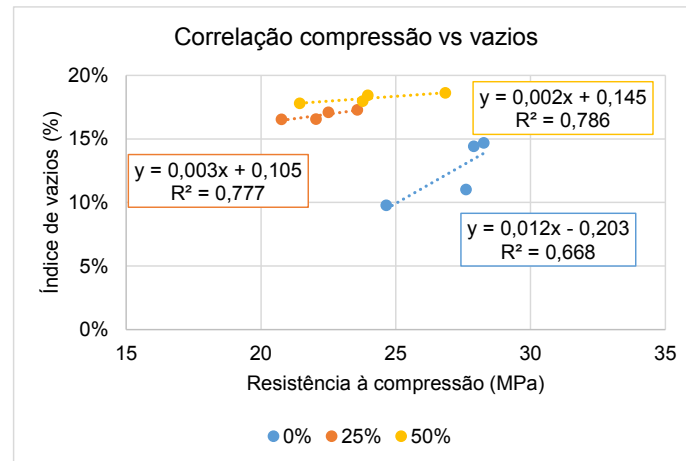


Figura 8: Correlação entre a resistência a compressão e o índice de vazios do concreto.

3.1.14 Análise de variância e comparação múltipla de médias

A variável (teor de RCD) exerceu influência significativa ($p < 0,05$) sobre as propriedades de: absorção, índice de vazios, módulo de elasticidade e resistência à compressão. Portanto, a massa específica e a resistência à tração por compressão diametral não sofreram influência estatisticamente significativa (a um nível de confiança de 95%) da presença do RCD.

Após teste de comparação múltipla de médias observou-se que, para o índice de vazios e a absorção, as amostras com diferentes teores de RCD (25% e 50%) não apresentaram diferenças entre si, podendo ser consideradas estatisticamente iguais. Apenas as amostras de concreto de referência apresentaram média divergente dos demais resultados obtidos.

Quanto ao módulo de elasticidade não houve diferenças significativas entre as médias das amostras Ref. - 25% e 25% - 50%. Desta forma, apenas as os resultados de módulo de elasticidade das amostras com adição de 50% de RCD podem ser consideradas estatisticamente diferentes do concreto convencional.

No teste de Tukey da resistência à compressão axial as amostras podem ser separadas em dois grupos estatisticamente iguais: Ref. - 50% e 25% - 50%. Portanto, apenas a adição de 25% de RCD gerou resultados estatisticamente diferentes do concreto de referência

4. CONCLUSÕES

Com a coleta, escolha do agregado reciclado para substituição do agregado natural e ensaios de caracterização desses materiais, produziram-se os concretos com diferentes teores de substituição do agregado natural pelo agregado reciclado e após a realização de ensaios com os corpos de prova dos concretos e análises dos resultados pode-se concluir que:

- Quanto à granulometria, a fração miúda do agregado reciclado estudado é adequada para emprego em concreto, enquanto a fração graúda deve ter sua composição granulométrica corrigida.
- A fração miúda encontra-se em maior abundância na bica corrida grossa em estudo, representando cerca de 51%, enquanto a fração graúda com dimensão máxima característica de 19 mm corresponde a 19%.
- O teor de material pulverulento e a absorção de água do agregado reciclado miúdo estão dentro dos limites estabelecidos para uso em concreto sem função estrutural.
- A massa específica do agregado reciclado miúdo é cerca de 3% menor que a do agregado natural miúdo.

- O aumento do teor de substituição de agregado natural por agregado reciclado levou a uma diminuição na trabalhabilidade, das massas específicas seca e saturada e do módulo de elasticidade do concreto, bem como a um aumento da absorção e do índice de vazios. A massa específica real do concreto não foi interferida pelo teor de substituição.

-Com relação à resistência à compressão axial, a substituição de agregado natural pelo agregado reciclado levou a um decréscimo na resistência do concreto, sendo que o concreto C50% obteve uma maior resistência que o C25%.

- No caso da resistência à tração, o concreto C25% apresentou resistência inferior à do concreto controle, enquanto a taxa de substituição de 50% não trouxe prejuízos à resistência do concreto.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – Conama, Resolução nº. 307 - Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, Brasília, 2002.
- [2] BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – Conama, Resolução nº. 348 - Altera a Resolução CONAMA no 307, incluindo o amianto na classe de resíduos perigosos, Brasília, 2004.
- [3] BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – Conama, Resolução nº. 431 - Altera o art. 3o da Resolução no 307, estabelecendo nova classificação para o gesso, Brasília, 2011.
- [4] BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – Conama, Resolução nº. 448 - Altera os arts. 2º, 4º, 5º, 6º, 8º, 9º, 10 e 11 da Resolução nº 307, Brasília, 2012.
- [5] KULAIF Y., *Análise dos Mercados de Matérias-Primas Minerais: Estudo de Caso da Indústria de Pedras Britadas do Estado de São Paulo*, Tese D.Sc., USP, São Paulo, Brasil, 2001.
- [6] ARAÚJO, D. L., FELIX, L. P., SILVA, L. C., *et al.*, “Influência de agregados reciclados de resíduos de construção nas propriedades mecânicas do concreto”, *Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, v. 11, n. 1, pp. 16-34, jan./jun. 2016.
- [7] ANGULO, S. C., *Caracterização de Agregados de Resíduos de Construção e Demolição Reciclados e a Influência de Suas Características no Comportamento Mecânico de Concretos*, Tese D.Sc., Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- [8] LEITE, M.B., MOLIN, D.D., “Avaliação da atividade pozolânica do material cerâmico presente no agregado reciclado de resíduo de C&D”, *Sitientibus*, Feira de Santa, n. 26, pp. 111-130, 2002.
- [9] MALEŠEV, M., RADONJANIN, V., MARINKOVIĆ, S., “Recycled concrete as aggregate for structural concrete production”, *Sustainability*, v. 2, n. 5, pp. 1204-1225, 2010.
- [10] ZORDAN, S., PAULON, V. A., “A Utilização do Entulho como Agregado para o Concreto”, *Engenharia e Construção*, v. maio, n. 44 e 45, pp. 19-21, 2000.
- [11] EVANGELISTA, L., BRITO, J., “Durability Performance of Concrete Made With Fine Recycled Concrete Aggregates”, *Cement and Concrete Composites*, v. 32, n. 1, pp. 9-14, jan 2010.
- [12] LOVATO, P. S., *Verificação dos Parâmetros de Controle de Agregados de Resíduos de Construção e Demolição Para Utilização em Concreto*, Dissertação M.Sc., Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.
- [13] TENÓRIO, J. J. L., GOMES, P. C. C., RODRIGUES, C. C., ALENCAR, T. F. F., “Concrete produced with recycled aggregates”, *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, v. 5, n. 5, pp. 692-701, Out. 2012.
- [14] MODLER, L.E.A., POZZOBON, C.E., “Avaliação da Viabilidade Técnica de Concreto Elaborado com Agregado Graúdo Reciclado”, *Teoria e Prática na Engenharia Civil*, v. 8, n. 11, pp. 43-53, 2008.
- [15] SILVA, R.V., DE BRITO, J., DHIR, R. K., “Properties and composition of recycled aggregates from construction and demolition waste suitable for concrete production”, *Construction and Building Materials*, v. 65, pp. 201-217, 2014.
- [16] BEHERA, M., BHATTACHARYYA, S. K., MINOCHA, A. K., “Recycled aggregate from C&D waste & its use in concrete—A breakthrough towards sustainability in construction sector: A review”, *Construction and building materials*, v. 68, pp. 501-516, 2014.
- [17] PEREIRA, P., EVANGELISTA, L., DE BRITO, J., “The effect of superplasticisers on the workability and compressive strength of concrete made with fine recycled concrete aggregates”, *Construction and Building Materials*, v. 28, n. 1, pp. 722-729, 2012.

- [18] MEDINA, C., ZHU, W., HOWIND, T., et al., "Effect of the constituents (asphalt, clay materials, floating particles and fines) of construction and demolition waste on the properties of recycled concretes", *Construction and Building Materials*, v. 79, pp. 22-33, 2015.
- [19] CARTUXO, F., DE BRITO, J., EVANGELISTA, L., et al., "Rheological behaviour of concrete made with fine recycled concrete aggregates—Influence of the superplasticizer" *Construction and Building Materials*, v. 89, pp. 36-47, 2015.
- [20] DILBAS, H., ŞİMŞEK, M., ÇAKIR, Ö., "An investigation on mechanical and physical properties of recycled aggregate concrete (RAC) with and without silica fume", *Construction and Building materials*, v. 61, pp. 50-59, 2014.
- [21] BRAVO, M., DE BRITO, J., PONTES, J., et al., "Durability performance of concrete with recycled aggregates from construction and demolition waste plants", *Construction and Building Materials*, v. 77, pp. 357-369, 2015.
- [22] BRAVO, M., DE BRITO, J., PONTES, J., et al., "Mechanical performance of concrete made with aggregates from construction and demolition waste recycling plants", *Journal of Cleaner Production*, v. 99, pp. 59-74, 2015.
- [23] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR NM 27: Agregados: Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório, Rio de Janeiro, 2001.
- [24] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR NM 248: Agregados: Determinação da composição granulométrica, Rio de Janeiro, 2003.
- [25] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação, Rio de Janeiro (2009).
- [26] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR NM 52: Agregado miúdo: Determinação da massa específica e massa específica aparente, Rio de Janeiro, 2009.
- [27] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR NM 53: Agregado graúdo: Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água, Rio de Janeiro, 2009.
- [28] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR NM 45: Agregados: Determinação da massa unitária e do volume de vazios, Rio de Janeiro, 2006.
- [29] Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR NM 30: Agregado Miúdo - Determinação da Absorção de Água, Rio de Janeiro, 2001.
- [30] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 12655: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento, Rio de Janeiro, 2006.
- [31] RODRIGUES, P.P.F., "Parâmetros de dosagem do concreto", *Associação Brasileira de Cimento Portland*, ET-67 2 ed. São Paulo, Brasil, 1995.
- [32] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 15116: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil: Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural, Rio de Janeiro, 2004.
- [33] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR NM 67: Concreto: Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, Rio de Janeiro, 1998.
- [34] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos: Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica, Rio de Janeiro, 2009.
- [35] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 5739: Concreto: Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos, Rio de Janeiro, 2007.
- [36] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 7222: Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos, Rio de Janeiro, 2011.
- [37] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 8522: Concreto: Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão, Rio de Janeiro, 2008.
- [38] BAZUCO, R.S., "Utilização de agregados reciclados de concreto para a produção de novos concretos", Dissertação M.Sc., Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.
- [39] FERREIRA, E.T., "Contribuição ao estudo do potencial de aproveitamento de agregados reciclados de RCC produzidos na Usiben - João Pessoa - em concreto estrutural aplicado em lajes pré-moldadas", Tese D.Sc., Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2013.

- [40] VIEIRA, G.L., MOLIN, D.C.C., LIMA, F.B., “Resistência e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados provenientes de resíduos de construção e demolição”, *Revista Engenharia Civil*, Portugal, v. 8, pp. 5-18, 2004.
- [41] GARCÍA-GONZÁLEZ, J., RODRÍGUEZ-ROBLES, D., JUAN-VALDÉS, A., et al., “Pre-Saturation Technique of the Recycled Aggregates: Solution to the Water Absorption Drawback in the Recycled Concrete Manufacture”, *Materials*, v. 7, pp. 6224-6236, 2014.
- [42] FRANKLIN, S.O., GUMEDE, M.T., “Studies on Strength and Related Properties of Concrete Incorporating Aggregates from Demolished Wastes: Part 1—A Global Perspective”, *Open Journal of Civil Engineering*, v. 4, n. 04, pp. 311, 2014.
- [43] KHATIB, J. M., “Properties of concrete incorporating fine recycled aggregate”, *Cement and Concrete Research*, [s.l.], n. 35, p. 763-769, 2005.
- [44] CABRAL, A. E. B., SCHALCH, V., DAL MOLIN, D. C. C., et al., “Modelagem da resistência à compressão de concretos produzidos com agregados reciclados de RCD”, *Minerva*, v. 4, n. 1, pp. 75-84, 2007.